

# 叔碳酸缩水甘油酯 POE 冷冻润滑油中的酸捕捉剂

## 一、产业背景

全球制冷行业正处于低碳转型与技术迭代的关键期，在“双碳”目标推进、HFCs 高 GWP 制冷剂逐步淘汰、环保型 HFOs/CO<sub>2</sub> 制冷剂普及的背景下，冷冻润滑油作为制冷压缩机的“血液”，需求向高稳定性、低腐蚀、长寿命、环保兼容方向快速升级。2024 年全球冷冻润滑油市场规模约 118 亿美元，中国作为全球最大制冷设备生产与消费国，2024 年市场规模超 69 亿美元，合成油(POE/PAG 类)占比已达 58%，成为市场主流。

POE（聚酯）冷冻润滑油因与环保制冷剂相容性好、低温流动性优，成为家用空调、商用制冷、工业热泵、新能源汽车空调的核心用油。但 POE 油易水解，在系统微量水（≥50ppm）、高温（80-120℃）、金属催化环境下会持续分解生成有机羧酸（C5-C9 脂肪酸），导致油品酸值（TAN）升高、粘度衰减、添加剂失效，进而引发压缩机腐蚀、磨损、积碳、毛细管堵塞、线圈烧毁等故障，大幅缩短设备寿命（从 10-15 年降至 3-5 年），全生命周期运维成本激增。

为解决 POE 油水解酸化难题，行业亟需高效酸捕捉剂（酸中和剂）。传统酸捕捉剂（如环氧大豆油、磷酸酯、胺类）存在反应效率低、热稳定性差、易析出、与制冷剂相容性弱、副产物有害等缺陷，难以满足高端制冷系统 20 年稳定运行要求。叔碳酸缩水甘油酯（CGE）作为含高活性环氧基团与叔碳支化结构的环保型功能单体，凭借环氧基团精准锁酸、叔碳结构抗水解热稳定、高相容低析出、低毒环保等特性，成为冷冻润滑油酸捕捉剂的最优选择，市场渗透率快速提升，推动行业向长寿命、低故障、低成本、绿色化转型。

## 二、客户痛点与需求

### （一）核心痛点

1、POE 油水解酸化，酸值超标致设备故障频发制冷系统运行中，POE 油与微量水反应生成羧酸，酸值（TAN）超过 0.5mgKOH/g 时，会腐蚀压缩机轴承、阀片、铜管，产生金属皂盐堵塞毛细管 / 过滤器；酸值超 1.0mgKOH/g 时，油品粘度下降、润滑失效、积碳严重，压缩机过热烧毁风险剧增，家用空调故障率提升 300%，工业制冷系统非计划停机率超 15%。

2、传统酸捕捉剂效率低、稳定性差，长效防护不足

环氧大豆油：环氧值低（≤6%），酸捕捉效率<40%，高温（>100℃）易分解失效，仅能维持 3-6 个月；

磷酸酯类：热稳定性差、易水解，生成酸性杂质加剧酸化，且与 HFO 制冷剂相容性差，低温易析出；

胺类：反应剧烈、易变色氧化，生成的胺盐易堵塞系统，且有刺激性气味，不符合环保安全标准。

3、高温高湿工况下，酸化加速，油品寿命大幅缩短商用热泵、新能源汽车空调、工业制冷压缩机长期在高温（90-130℃）、高湿（水含量 100-300ppm）、高压环境运行，POE 油水解速率是常规工况的 2-5 倍，酸值快速飙升，油品寿命从 8000 小时缩短至 2000 小时，换油频率增加 3-4 倍，运维成本高。

4、与环保制冷剂相容性差，析出分层影响系统稳定传统酸捕捉剂与 HFO-1234yf、CO<sub>2</sub>（R744）等环保制冷剂相容性差，低温（-20℃）易析出沉淀，堵塞节流部

件，导致制冷效率下降、能耗升高、系统压力异常，适配新能源汽车、商用冷链等场景受限。

5、副产物有害，不符合环保安全与长寿命要求部分传统酸捕捉剂反应后生成含磷、含氮、重金属等有害副产物，累积后污染油品、腐蚀设备，且不符合欧盟 REACH、国内 GB 38508 环保标准，难以满足高端制冷系统 20 年免维护、低排放、安全环保的需求。

## （二）核心需求

1. 高效锁酸，快速稳定降酸值：添加量 $\leq 1.0\%$ 时，酸捕捉效率 $\geq 90\%$ ，快速将酸值控制在  $0.1\text{mgKOH/g}$  以下，长效抑制酸化，油品寿命延长 2 倍以上。
2. 热稳定抗水解，宽温域长效防护：在  $-40^{\circ}\text{C}$  至  $130^{\circ}\text{C}$  环境下稳定不分解、不析出，高温高湿工况下持续锁酸，适配热泵、新能源空调等极端工况。
3. 高相容无析出，适配全类型环保制冷剂：与 POE/PAG 油、HFO/HFC/ $\text{CO}_2$  制冷剂完全相容，低温不析出、不分层，不影响系统制冷效率与稳定性。
4. 低毒环保无有害副产物：符合欧盟 REACH、CE 及国内 GB 18581 标准，低毒无刺激、无重金属、无磷氮有害物，副产物稳定无害，不污染油品、不腐蚀设备。
5. 适配多场景，兼顾成本与性能：适配家用空调、商用制冷、工业热泵、新能源汽车空调、冷链设备等全场景；添加量少、成本可控，性价比优于传统产品，降低全生命周期运维成本。

## 三、叔碳酸缩水甘油酯作为酸捕捉剂在冷冻润滑油中的应用优点

### （一）环氧基团精准锁酸，高效中和酸化产物

叔碳酸缩水甘油酯分子含高活性环氧基团（三元环醚），可与 POE 油水解生成的有机羧酸（C5-C9 脂肪酸）发生开环加成反应，1:1 精准中和羧酸，生成稳定无害的叔碳酸酯衍生物，从根源抑制酸化链式反应。

- 高效锁酸：环氧值 $\geq 18\%$ ，酸捕捉效率 $\geq 95\%$ ，添加量  $0.5\%-1.0\%$  即可将酸值从  $1.0\text{mgKOH/g}$  快速降至  $0.1\text{mgKOH/g}$  以下，锁酸速度是环氧大豆油的 3 倍；
- 长效稳定：反应产物为高稳定性叔碳酯，不水解、不分解、不析出，在系统内长期稳定存在，长效抑制酸化周期 $\geq 2$  年，远超传统产品；
- 无二次污染：反应无含磷、含氮、重金属等有害副产物，不污染油品、不腐蚀设备、不堵塞系统。

### （二）叔碳支化结构，热稳定抗水解，宽温域适配

叔碳酸缩水甘油酯分子含高度支化叔碳结构（ $-\text{C}(\text{CH}_3)_3$ ），叔碳基团对环氧基团形成强空间位阻保护，显著提升分子热稳定性、抗水解性、抗氧化性，适配制冷系统极端工况。

- 热稳定性优：热分解温度 $\geq 280^{\circ}\text{C}$ ，在  $-40^{\circ}\text{C}$  至  $130^{\circ}\text{C}$  宽温域内稳定不分解、不挥发，高温（ $120^{\circ}\text{C}$ ）长期运行无损耗、无失效；
- 抗水解性强：叔碳支化结构阻碍水分子渗透，自身不水解、不生成酸性杂质，在水含量  $300\text{ppm}$  的高湿环境下，仍保持  $90\%$  以上锁酸活性；
- 抗氧化性好：抑制油品氧化链式反应，延缓粘度衰减、减少积碳生成，油品氧化诱导期延长  $50\%$ ，压缩机内部洁净度提升。

### （三）高相容低析出，适配全类型油与环保制冷剂

叔碳酸缩水甘油酯极性适中、支化度高、分子结构与 POE/PAG 油高度相似，与冷冻润滑油、环保制冷剂相容性优异，彻底解决传统酸捕捉剂析出分层难题。

- 油相容：与 POE（聚酯）、PAG（聚醚）、PAO（聚 α 烯烃）等全类型冷冻润滑油完全互溶，不分层、不析出、不影响油品粘度与低温流动性；
- 制冷剂相容：与 HF0-1234yf、HFC-134a、CO<sub>2</sub>（R744）、R410A 等全类型环保制冷剂相容性优异，-40℃低温无沉淀、无析出，不堵塞毛细管 / 过滤器；
- 不影响系统性能：添加后不降低制冷效率、不增加能耗、不改变系统压力，适配新能源汽车空调、商用热泵等高效制冷场景。

#### （四）低毒环保安全，符合全球严苛标准

叔碳酸缩水甘油酯低毒、无刺激性、低挥发性、无重金属、无游离环氧残留，符合欧盟 REACH、CE、美国 EPA 及国内 GB 38508、GB 18581 等环保安全标准，适配安全敏感场景。

- 安全无毒：LD50>5000mg/kg，皮肤无刺激、无致敏，挥发性极低（<0.1%），施工与设备运行过程无异味、无有害物质释放；
- 绿色合规：合成过程无三废排放，原子利用率高，契合绿色化工理念；反应产物稳定无害，可随油品正常回收处理，无环保风险；
- 适配敏感场景：可直接用于家用空调、食品冷链、医用制冷、新能源汽车空调等安全敏感场景，无健康与环境隐患。

#### （五）添加量少成本可控，显著降低全生命周期成本

叔碳酸缩水甘油酯锁酸效率高、长效稳定、添加量低，性价比显著优于传统酸捕捉剂，大幅降低冷冻润滑油与设备运维成本。

- 低添加量：常规工况添加 0.5%-0.8%，高温高湿工况添加 0.8%-1.0%，添加量仅为环氧大豆油的 1/3；
- 降本增效：延长油品换油周期 2-3 倍（从 4000 小时至 10000 小时以上），减少换油次数与废油处理成本；降低压缩机腐蚀、磨损、烧毁故障，维修成本降低 60% 以上，设备使用寿命延长 5-8 年；
- 供应链稳定：国内规模化生产，价格稳定、供货周期短（7-12 天），无断供风险，适配大批量、规模化生产需求。

## 四、实际应用案例

案例 1：家用空调 POE 油长效防护（常规工况）

某头部家电企业 1.5 匹家用空调，采用 POE 32 冷冻润滑油 + 0.6% 叔碳酸缩水甘油酯配方：

- 性能：运行 12 个月，油品酸值稳定在 0.08mgKOH/g 以下，无腐蚀、无积碳、无堵塞；压缩机故障率从 1.2% 降至 0.15%；
- 效益：换油周期延长至 8 年，运维成本降低 70%，用户投诉率下降 60%，产品市场竞争力提升。

案例 2：新能源汽车空调（高温高湿极端工况）

某新能源车企热泵空调系统，采用 POE 46 油 + 0.9% 叔碳酸缩水甘油酯配方，工况：90-120℃、水含量 200ppm、HF0-1234yf 制冷剂：

- 性能：连续运行 5000 小时，酸值≤0.1mgKOH/g，无析出、无分层、制冷效率稳定；压缩机无磨损、无烧毁；
- 效益：油品寿命延长 3 倍，维修成本降低 65%，满足新能源汽车 20 年使用寿命要求。

案例 3：商用冷链压缩机（高负荷长时运行）

某商用冷链企业大型制冷压缩机，采用 POE 68 油 + 0.8% 叔碳酸缩水甘油酯配方，工况：80-110℃、24 小时连续运行：

- 性能：运行 24 个月，酸值 $\leq 0.09\text{mgKOH/g}$ ，压缩机内部洁净、无积碳、阀片无腐蚀；非计划停机率从 15% 降至 1.2%；
- 效益：换油周期从 6 个月延长至 24 个月，运维成本降低 75%，冷链货物损耗率下降 30%。

## 五、总结

叔碳酸缩水甘油酯凭借环氧基团精准高效锁酸、叔碳支化结构热稳定抗水解、高相容低析出适配全类型油与制冷剂、低毒环保安全合规、低添加量高性价比等核心优势，精准解决冷冻润滑油行业 POE 油水解酸化、传统酸捕捉剂效率低稳定性差、高温高湿工况失效、与环保制冷剂相容性差、副产物有害五大痛点，全面适配家用空调、商用制冷、工业热泵、新能源汽车空调、冷链设备等全场景需求。作为高性能环保酸捕捉剂，叔碳酸缩水甘油酯助力冷冻润滑油企业提升油品稳定性、延长使用寿命、降低运维成本、合规环保生产，推动制冷行业向长寿命、低故障、低成本、绿色化转型，为全球制冷设备提供超耐久、高安全、全周期的润滑防护解决方案。随着环保政策收紧与制冷技术升级，叔碳酸缩水甘油酯在冷冻润滑油领域的渗透率将持续提升，成为推动行业技术升级、产品迭代与绿色低碳发展的关键材料。

如需叔碳酸缩水甘油酯及相关的解决方案

请联系我们 0757 85999438